

**Method of preparing lipid vesicles by ultrasonic treatment, the use of this method and apparatus for its application.**

Publication number: EP0052322 (A2)

Publication date: 1982-05-26

Inventor(s): GERSONDE KLAUS PROF DR MED; SCHAL WILFRIED DR

Applicant(s): GERSONDE KLAUS PROF DR [DE]

### Classification:

- international: A61K9/127; A61K9/50; A61K9/127; A61K9/50; (IPC1-7): A61K9/50

- European: A61K9/127P; A61K9/50H8B

Application number: EP19810109575 19811109

Priority number(s): DE19803042360 19801110

Also published as:

EP0052322 (A3)

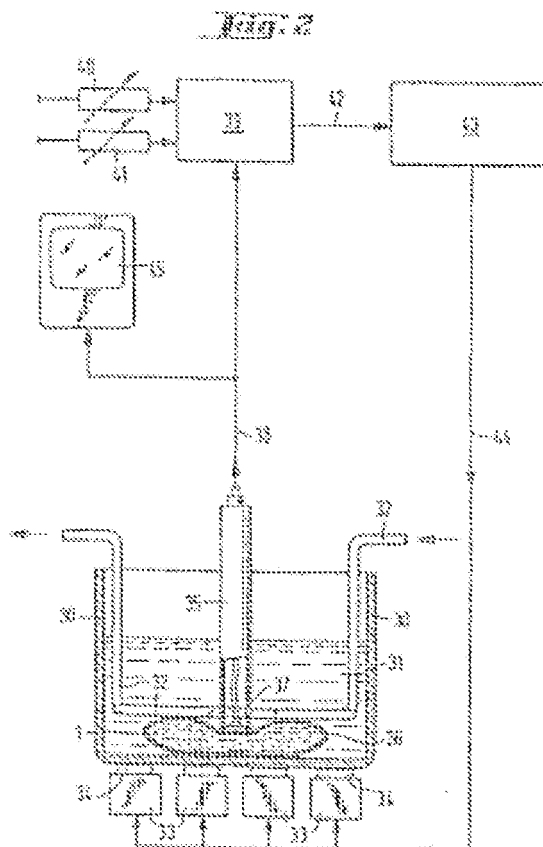
EP0052322 (B1)

Cited documents:

DE2338503 (A1)

Abstract of EP 0052322 (A2)

1. A method of preparing lipid vesicles from biological membranes or lipid suspensions, in which the lipid suspensions or lipid particles to be desintegrated are ultrasonically treated in a dispersion fluid inside a treatment container at a substantially constant temperature, characterized in that the size respectively size distribution of the lipid vesicles, effective for the desired purpose, and the optimum ultrasonic frequency and intensity in the dispersion fluid required for obtaining this size respectively this size distribution are determined, and that the thus determined optimum ultrasonic frequency and intensity, with the other constant conditions, are maintained constant in such a manner that during the ultrasonic treatment the actual value of frequency and intensity of the ultrasonic field in the reaction medium is continuously measured and the output power and the frequency of the electric generator supplying the sound transmitter are controlled in dependence upon the actual value of the frequency and intensity of the ultrasonic field.



Data supplied from the *esp@cenet* database — Worldwide

12 **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

21 Anmeldenummer: 81109575.1

51 Int. Cl.<sup>3</sup>: A 61 K 9/50

22 Anmeldetag: 09.11.81

30 Priorität: 10.11.80 DE 3042360

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
26.05.82 Patentblatt 82/21

84 Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH DE FR GB LI NL SE

71 Anmelder: Gersonde, Klaus, Prof. Dr.  
Preusweg 69  
D-5100 Aachen(DE)

72 Erfinder: Gersonde, Klaus, Prof. Dr. med.  
Preusweg 69  
D-5100 Aachen(DE)

72 Erfinder: Schäl, Wilfried, Dr.  
Tannenwaldweg 27  
D-6380 Bad Homburg(DE)

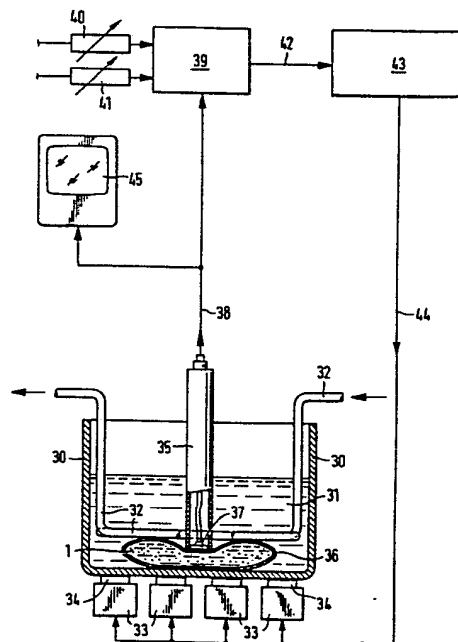
74 Vertreter: Biermann, Wilhelm, Dr.-Ing.  
Morillenhang 39  
D-5100 Aachen(DE)

54 **Verfahren zur Herstellung von Lipid-Vesikeln durch Ultraschallbehandlung, Anwendung des Verfahrens und Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.**

57 Bei einem Verfahren zur Herstellung von Lipid-Vesikeln aus biologischen Membranen oder aus Lipid-Suspensionen, bei dem die zu desintegrierenden Lipid-Suspensionen oder Lipid-Partikel in einer Dispersionsflüssigkeit einer Ultraschallbehandlung unterworfen werden, werden die für den jeweiligen Zweck optimalen Ultraschall-Bedingungen ermittelt. Während der Ultraschallbehandlung unter den ermittelten Bedingungen werden im Reaktionsmedium die Frequenz und die Intensität des Ultraschallfeldes fortlaufend gemessen, und in Abhängigkeit von den gemessenen Istwerten werden die Ausgangsleistung und die Frequenz des den Schwingungsgeber für die Ultraschallwellen speisenden elektrischen Generators zur ständigen Aufrechterhaltung der optimalen Bedingungen nachgeregelt. Die Regelung kann über einen automatischen Regelkreis mit Sollwert-Istwert-Vergleich durchgeführt werden.

Das Verfahren findet insbesondere Anwendung für die Herstellung von für therapeutische Zwecke bestimmten, mit einem Wirkstoff beladenen Lipid-Vesikeln, die zur Fusion mit roten Blutzellen befähigt sind.

**Fig. 2**



## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von uniformen, unilamellaren sogenannten  
5 kleinen Lipid-Vesikeln, insbesondere ein Verfahren zum Überführen von lamellär angeordneten Lipiden in Lipidvesikel, bei dem die zu desintegrierenden Lipid-Strukturen (Lamellen) in einer Suspensionsflüssigkeit innerhalb eines Be-  
10 schallungsgefäßes bei im wesentlichen konstanter Temperatur einer Ultraschallbehandlung unterworfen werden. Die Erfindung umfaßt ferner geeignete Vorrichtungen zur Durchführung des Verfahrens.

15 Lipid-Vesikel werden zum Beispiel für medizinisch-therapeutische und wissenschaftliche Zwecke benötigt. Arzneimittel, die einen intrazellulären Wirkort haben, müssen die Zell-Membran passieren können. Viele Effektoren, die den intrazellulären  
20 Stoffwechsel kontrollieren und in der Zelle gebildet werden, können die Zelle weder verlassen noch in diese von außen eindringen. Der therapeutische Einsatz dieser Stoff-Klasse macht daher einen Transportmechanismus erforderlich, der es  
25 erlaubt, nicht-membran-permeable Stoffe in die Zellen hineinzuschleusen, ohne daß diese Stoffe die Zellen wieder verlassen können. Ein solcher Transportmechanismus soll darüberhinaus möglichst unabhängig von dem zu transportierenden Wirkstoff  
30 sein, also jede Art von Effektor transportieren können, andererseits aber Zell-spezifisch sein, d.h. den Transport nur in bestimmte Zellen ermöglichen. Ein Transport-System mit den oben genann-

2

- Eigenschaften stellen Lipid-Vesikel dar, welche die verschiedensten Stoffe einschließen können, wie Enzyme, Arzneimittel, Chelat-bildende Substanzen, Hormone, Zell-Effektoren, Antigene, Antikörper, Interferon-Induktoren und Gene. In den Lipid-Vesikeln sind das Lösungsmittel und die im Lösungsmittel gelösten Stoffe von Phospholipid-Doppelschichtmembranen umschlossen. Die Lipid-Membran hat eine Dicke von 4 nm, die Vesikel können einen Durchmesser von 25 bis 120 nm annehmen. Die Größe der Vesikel läßt sich mit Hilfe der Laser-Lichtstreuung, durch Ultrazentrifugation, Gelfiltration oder im Raster-Elektronenmikroskop bestimmen.
- Ein wichtiges Anwendungsgebiet der Lipid-Vesikel ist die Inkorporierung von Inositolhexaphosphat (IHP) in rote Blutzellen nach dem von Y.C. Nicolau und K. Gersonde beschriebenen Verfahren (US-Patent 4.192.869), zur Herabsetzung der Sauerstoff-Affinität des Hämoglobins. Man weiß nämlich, daß z.B. bei der Lagerung von Blutkonserven die Sauerstoff-Affinität des Hämoglobins in den roten Blutzellen ständig zunimmt. Ebenso beobachtet man bei bestimmten Krankheiten eine erhöhte Sauerstoff-Affinität des Hämoglobins. Diese erhöhte Sauerstoff-Affinität führt dazu, daß nur ein geringer Anteil des Sauerstoffs, der an Hämoglobin gebunden ist und im Blut zirkuliert, tatsächlich an das Gewebe abgegeben wird. Diese hohe  $O_2$ -Affinität des Hämoglobins kann durch Bindung von bestimmten Effektoren an das Hämoglobin herabgesetzt werden. Der stärkste Effektor dieser Art ist das Inositolhexaphosphat (IHP). Die Inkorporierung von IHP wird erreicht dadurch, daß intakte Zellen mit IHP-bela-

## 3

denen Lipid-Vesikeln inkubiert werden, wobei durch Fusion der Lipid-Membranen der Zelle und der Vesikel IHP in die Zelle eingeschleust wird und dort seine Wirkung erzielt, nämlich die  
5 Veränderung der  $O_2$ -Affinität des Hämoglobins, meßbar als "Rechtsverschiebung" der Hämoglobin- $O_2$ -Dissoziationskurve. Nach Rückkehr dieser IHP-beladenen roten Blutzellen in den Kreislauf wird ein erheblich höherer Anteil der in den roten  
10 Blutzellen gespeicherten  $O_2$ -Menge in der Peripherie abgegeben. Diese Eigenschaft der modifizierten roten Blutzellen bleibt während des gesamten Lebens der Zelle erhalten.

15 Für die Inkorporierung von Inositolhexaphosphat in rote Blutzellen werden kleine, unilamellare IHP-beladene Lipid-Vesikel mit einem Durchmesser von 20 bis 50 nm benötigt. Es ist bekannt, Lipid-Vesikel durch Desintegration von Lipid-Suspensionen im Ultraschallfeld herzustellen. Der Fortschritt in der Anwendung von Lipid-Vesikeln in der Therapie vollzieht sich bisher nur sehr langsam, da die Herstellung von für die Fusion mit den roten Blutzellen geeigneten Lipid-Vesikeln  
25 in ausreichender Menge mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden ist. Die für diesen Zweck geeigneten Lipid-Vesikel müssen nämlich nicht nur in großen Mengen hergestellt werden können, sondern auch reproduzierbar von einheitlicher Größe und  
30 somit dosierbar in der therapeutischen Anwendung sein. Die nachträgliche Anwendung von Trennverfahren zum Abtrennen geeigneter Fraktionen der Lipid-Vesikel wirft vielerlei Probleme auf, z.B.

Aufrechterhaltung der Sterilität und Anwendung aufwendiger und zeitraubender Trenn-Techniken, die die biologische Effektivität der Vesikel, die nur eine Halb-Lebenszeit von ca. 1 Tag haben, stark vermindern. Das einzige Verfahren, das die Herstellung großer Mengen von Vesikeln in kurzer Zeit erlaubt, ist die Desintegration im Ultraschall. Außer von der Art und Zusammensetzung der Lipid-Membran der Vesikel hängen der Erfolg und die Reproduzierbarkeit der wissenschaftlichen Untersuchung bzw. der therapeutischen Behandlung, d.h. Einschleusung von IHP in rote Blutzellen, wesentlich von der Größe der Lipid-Vesikel ab. Die Kontrolle, ob sich bei der Desintegration der Lipid-Suspension die Lipid-Vesikel in ausreichender Homogenität und somit Qualität und in ausreichender Menge gebildet haben, erfolgt in der Weise, daß man mit den hergestellten Lipid-Vesikeln die gewünschten IHP-Einschleusungsversuche in rote Blutzellen durchführt, das intrazelluläre IHP chemisch nachweist und die Hämoglobin-O<sub>2</sub> - Dissoziationskurve intakter Zellen mißt bzw. die gewünschte biologische oder therapeutische Wirkung der IHP-beladenen roten Blutzellen im Tierversuch nachweist. Die Ergebnisse der Versuche bzw. der Erfolg der Behandlung können also erst nach aufwendigen Experimenten beurteilt werden, und der Erfolg der Ultraschallbehandlung, nämlich die Herstellung von für die Fusion mit den roten Blutzellen befähigten Vesikeln, erst im Nachhinein erkannt werden.

Es hat sich gezeigt, daß die Herstellung von Lipid-Vesikeln - insbesondere in großen Volumina, wie sie

für therapeutische Verfahren erforderlich sind -  
mit gleichbleibenden Eigenschaften mit Hilfe der  
bekannten Ultraschall-Technik schwierig ist. Trotz  
Einhaltung anscheinend völlig gleicher äußerer  
5 Bedingungen bei der Desintegration der Lipid-  
Suspensionen im Ultraschallfeld gelingt es bisher  
nicht, stets die gleiche Ausbeute an sogenannten  
kleinen unilamellaren und somit fusionswirksamen  
Lipid-Vesikeln zu erhalten.

10

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, das  
eingangs genannte Verfahren zur Herstellung von  
Lipid-Vesikeln, die erfolgreich Effektoren in  
Zellen einschleusen, dahingehend weiterzuent-  
wickeln, daß der Wirkungsgrad des Verfahrens er-  
15 höht wird, und daß in reproduzierbarer Weise eine  
hohe Ausbeute an für den jeweils gewünschten Zweck  
hochwirksamen Lipid-Vesikeln erzielt wird.

20

Die Erfindung besteht darin, daß die für den ge-  
wünschten Zweck wirksamste Vesikelgröße bzw. Ve-  
sikelgrößenverteilung, sowie die für die Erzielung  
dieser Vesikelgröße bzw. Vesikelgrößenverteilung  
optimale Ultraschall-Frequenz und -Intensität ermit-  
25 telt wird, und daß die so ermittelte optimale Ultra-  
schall-Frequenz und -Intensität bei im übrigen  
gleichen Behandlungsbedingungen dadurch konstant-  
gehalten wird, daß während der Ultraschallbehand-  
lung der Istwert der Frequenz und der Intensität  
30 des Ultraschallfeldes in dem Reaktionsmedium  
fortlaufend gemessen, und in Abhängigkeit von die-  
sem Istwert die Ausgangsleistung und die Frequenz  
des den Schwingungsgeber speisenden elektrischen

6

Generators geregelt wird.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, daß bei Verwendung der Vesikel zu therapeutischen Zwecken Größe bzw. Größenverteilung der Vesikel für die Wirksamkeit derselben von ausschlaggebender Bedeutung ist, und daß andererseits die Größe und Homogenität der im Ultraschallfeld erzeugten Vesikel in empfindlicher Weise von der Konstanz und Intensität des auf die Lipide einwirkenden Ultraschallfeldes abhängen. Während es bisher üblich ist, die in den Schallgeber eingekoppelte Schallenergie zu messen und konstant zu halten, schlägt die Erfindung vor, die in dem Reaktionsmedium wirksame Schallenergie zu messen und gezielt zu verändern, und zwar in der Weise, daß die effektive Schallenergie im Reaktionsmedium selbst auf ihrem optimalen Wert konstantgehalten wird. Durch das Messen der effektiven Schallenergie im Reaktionsmedium selbst, und durch die Verwendung dieses Istwertes zum Regeln der eingekoppelten Schallenergie, werden alle Einflüsse kompensiert, die die effektive Schallintensität und die Schallfrequenz am Vesikel-Bildungsort beeinflussen, wie z.B. unterschiedliche und sich verändernde Absorption der Schallenergie mit fortschreitender Reaktion, sich ändernde geometrische Verhältnisse innerhalb des Reaktionsmediums bei Auftreten von Gasbläschen während der Ultraschallbehandlung, sowie Reflexion eines Frequenzbandes von Schallwellen, das sich mit den vom Schallgeber abgestrahlten Schallwellen überlagert, und gegebenen-



7

falls bei phasenverschobener Überlagerung bis zur Auslöschung der Schallenergie führt.

5 Wenn man also gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren  
zunächst mit Hilfe der bekannten Untersuchungs-  
methoden den für den jeweiligen Zweck optimalen  
Vesikeldurchmesser bzw. die optimale Verteilungs-  
kurve der wirksamsten Vesikeldurchmesser fest-  
10 stellt, sodann in einer weiteren Versuchsreihe  
die optimalen Ultraschallbedingungen wie Frequenz  
und Schalldruck ermittelt, die zu der gewünschten  
Verteilungskurve führen, und dann die so ermittel-  
te optimale Ultraschallintensität und Ultraschall-  
15 frequenz innerhalb des Reaktionsmediums während  
der Reaktionsdauer konstant hält, erhält man eine  
sehr hohe Ausbeute an für den jeweiligen Zweck  
außerordentlich wirkungsvollen Lipid-Vesikeln.

20 Das erfindungsgemäße Verfahren läßt sich nicht nur  
für die Herstellung von Lipid-Vesikeln, sondern  
mit demselben Erfolg auch zum Behandeln von natür-  
lichen biologischen Membranen und deren Umwandlung  
in Vesikel anwenden, beispielsweise bei der Er-  
forschung von Funktion und Struktur von Membran-  
25 Enzymen. Auch hierfür ist es nämlich erforderlich,  
die Membran-Enzyme reproduzierbar in Vesikel be-  
stimmter Größe zu überführen, was nach den bekann-  
ten Verfahren nicht mit ausreichender Sicherheit  
möglich ist.

30

Weitere Einzelheiten und Vorteile des erfindungs-  
gemäßen Verfahrens werden nachfolgend anhand der  
Zeichnungen und anhand von Ausführungsbeispielen

8

näher beschrieben.

Von den Zeichnungen zeigt:

5                    Fig. 1    eine für die Herstellung von kleineren Mengen von Lipid-Vesikel-Suspensionen geeignete Vorrichtung mit den Merkmalen der Erfindung, teilweise in schematischer Darstellung, und

10

                  Fig. 2    eine für die Herstellung von Lipid-Vesikel-Suspensionen in Steril-Packungen für den klinischen Gebrauch in Liter-Quantitäten geeignete Vorrichtung, ebenfalls in teilweise schematischer Darstellung.

15

20                    Das Reaktionsmedium 1 in Form einer Suspension eines Lipides in einem geeigneten Dispersionsmittel befindet sich in dem inneren zylinderförmigen Rohr 2 des doppelwandigen gläsernen Reaktionsgefäßes 3. Der Boden des Reaktionsgefäßes 3 weist eine zu dem Reaktionsraum 3 durchgehende

25                    Öffnung auf, in die ein Schallaufnehmer 5 eingesetzt ist. Der Schallaufnehmer 5 ist mit Hilfe einer Epoxidharzschicht 6 mit der die Öffnung umgebenden Wand 7 verklebt und abgedichtet. Von oben taucht in das Reaktionsmedium 1 ein Ultraschall-Schwingungsgeber 8 ein. Der aus dem Reaktionsgefäß 3 oben herausragende Teil 9 des

30                    Schwingungsgebers 8 ist mit einer Kupplung 9 für den Stromanschluß versehen.

Durch die doppelte Wand des Reaktionsgefäßes wird ein Hohlraum 10 gebildet, der von Kühlwasser durchströmt ist. Die Rohrstutzen 11 und 12 dienen zur Zuleitung bzw. zur Abführung des Kühlwassers. Der Rohrstutzen 13 führt in den Reaktionsraum oberhalb des Reaktionsmediums 1 und dient zur Zuführung eines Inertgases wie Argon. Nach oben ist der Reaktionsraum abgeschlossen durch einen Deckel 14. Durch die zwischen dem Deckel 14 und dem Ultraschallgeber bzw. der Gefäßwand verbleibenden Spalte kann das unter geringem Überdruck stehende Inertgas entweichen.

Der Schallaufnehmer 5 weist als eigentlichen Schalldruck- bzw. Schallintensitätsempfänger an seinem oberen, mit dem Reaktionsmedium 1 in Kontakt stehenden Ende eine Piezo-Scheibe 18 auf, die in dem dargestellten Fall radial in einem Halterohr eingebaut, und in diesem Halterohr beispielsweise mit Epoxidharz eingeklebt und abgedichtet ist. Das von der Piezo-Scheibe 18 gelieferte elektrische Signal ist ein Maß für die effektive Schallfrequenz und die effektive Schallintensität in dem Reaktionsmedium. Dieses elektrische Signal stellt den Istwert des Regelkreises dar und wird über die Leitung 20 dem Regelverstärker 21 zugeführt. Auf dem Oszillographen 22 können gegebenenfalls die effektive Frequenz und die Schallintensität visuell verfolgt, und erforderlichenfalls von Hand Nachregulierungen der Frequenz und der Ausgangsleistung des Hochfrequenzgenerators 23 vorgenommen werden.

Dem Regelverstärker 21 wird über eine Sollwert-

Einstell-Vorrichtung 24 der Sollwert für die  
Ultraschall-Intensität, und über eine Sollwert-  
Einstell-Vorrichtung 25 der Sollwert für die  
Ultraschall-Frequenz vorgegeben. Bei Abweichungen  
5 der Istwerte der Frequenz und der Intensität des  
Ultraschallfeldes im Reaktionsmedium von den vor-  
gegebenen Sollwerten wird über die Leitung 26  
der Ultraschallgenerator 23 angesteuert, dessen  
Frequenz und/oder Ausgangsleistung so lange ver-  
10 ändert werden, bis die innerhalb des Reaktions-  
mediums 1 gemessenen effektiven Werte mit den  
vorgegebenen Sollwerten übereinstimmen. Von dem  
Hochfrequenzgenerator 23 wird der Ultraschall-  
geber 8 über die Leitung 28 mit der erforder-  
15 lichen elektrischen Spannung versorgt.

Die in Fig. 2 dargestellte Vorrichtung eignet sich  
für die Herstellung von Lipid-Vesikeln in größeren  
Quantitäten. Das Reaktionsgefäß ist eine oben of-  
20 fene zylindrische rechteckige Wanne 30 aus korro-  
sionsbeständigem Cr-Ni-Stahl. Die Kühlung der Flüs-  
sigkeit 31 in dem Reaktionsgefäß erfolgt durch eine  
Kühlschlangenordnung 32, die in die in der Wanne  
30 befindliche Flüssigkeit 31 eingesetzt wird. Unter  
25 dem Boden der Wanne 30 sind auf der Außenseite  
acht elektro-akustische Wandler 33 angeordnet, de-  
ren Schwingungsgeber 34 an den Boden der Wanne 30  
angekoppelt sind. Die Schallenergie wird so auf  
die Flüssigkeit 31 in der Wanne 30 übertragen.  
30 In die Flüssigkeit 31 taucht von oben der Schall-  
aufnehmer 35 ein. Das Reaktionsmedium selbst be-  
findet sich in einem verschlossenen Steril-Beutel  
36, der durch die Kühlschlangenordnung 32 inner-  
halb der Flüssigkeit 31 wenig oberhalb des Bodens

der Wanne gehalten wird. Der Schallaufnehmer 35 wird so weit abgesenkt, daß der Schallaufnahmkopf, d.h. die Piezo-Scheibe 37, gegen den Steril-Beutel 36 gedrückt wird, und so das Ultraschallfeld in dem Reaktionsmedium erfaßt.

Das von der Piezo-Scheibe 37 gelieferte Signal steuert über die Leitung 38 den Regelverstärker 39 an und liefert diesem die Istwerte für den Regelvorgang.

10 Die Sollwerte für die Frequenz und die Intensität des Ultraschalls werden vorgegeben durch die Sollwert-Vorgabebeeinrichtung 40 bzw. 41. Bei Abweichung der Istwerte von den vorgegebenen Sollwerten wird über die Leitung 42 der regelbare elektrische Generator

15 43 angesteuert, dessen an die elektromagnetischen Wandler 33 über die Leitung 44 abgegebene Ausgangsleistung und/oder Frequenz so lange verändert werden, bis Sollwerte und Istwerte übereinstimmen. Die von der Piezo-Scheibe 37 gemessene Frequenz und Amplitude

20 des Ultraschallfeldes können auf dem Oszillographen 45 visuell beobachtet werden, so daß auch ggf. ein manueller Eingriff in die Regelung möglich ist.

Mit Hilfe der beschriebenen Vorrichtungen werden

25 beispielsweise folgende Reaktionen durchgeführt:

#### Beispiel 1

Es sollen IHP-beladene Lipid-Vesikel für therapeutische Zwecke hergestellt werden, und zwar

30 zur Einschleusung von IHP in rote Blutzellen mittels Fusion zur Verbesserung der  $O_2$ -Freisetzungseigenschaften der roten Blutzellen. Die generelle Methode zur Präparation von Lipid-Vesikeln ist in

35 der US-Patentschrift 4.192.869 beschrieben, auf

die insoweit Bezug genommen wird. Die Lipid-Vesikel sind aus Phosphatidylcholin, Phosphatidylserin und Cholesterol im molaren Verhältnis von 8 : 2 : 7 aufgebaut. Diese Lipide werden zunächst in einem organischen Lösungsmittel aus 95 Teilen Chloroform und 5 Teilen Methanol gelöst, um eine homogene Lösung und Mischung dieser Lipide zu erreichen. Dann wird das Lösungsmittel bei 20 Grad Celsius im Rotationsverdampfer entfernt. Der dann im Rundkolben verbleibende Lipid-Film wird mit einer wäßrigen Lösung, welche die biologisch aktive Substanz (hier IHP) enthält, aufgenommen und geschüttelt, so daß sich nunmehr ebene Lipid-Lamellen in dieser Suspension bilden. Diese Suspension enthält Lipide in einer Konzentration von ca. 17 - 200 µg/l. Die Suspension ist ferner gesättigt an IHP und zwischen pH 7.0 - 8.0 gepuffert.

In einer vorausgehenden Versuchsreihe wurde festgestellt, daß sich für die Fusion mit Erythrozyten und die Inkorporierung von IHP in Erythrozyten Vesikel eignen, die die oben beschriebene Zusammensetzung haben und die einen Durchmesser von 250 - 500 Å aufweisen. Die Wirksamkeit ist um so größer, je größer der Mengenanteil dieser Vesikel-Formation in dem jeweiligen Präparat ist. Durch eine weitere Versuchsreihe wurde sodann ermittelt, daß sich diese gewünschte Durchmesser-Verteilung erreichen läßt, wenn die Lipide bei einer in etwa konstanten Temperatur von 37 Grad Celsius mit einer schmalbandigen Schallfrequenz von 20 kHz mit einer effektiven Schallenergie von 3 bis 6 W/cm<sup>2</sup> beschallt werden.

Die oben beschriebene Lipid-Suspension wird unter Inertgas in das Reaktionsgefäß 3 (Fig. 1) eingefüllt. Das Reaktionsgefäß wird durch das Rohr 13 mit Argon gespült. An den Sollwert-Einstellvorrichtungen 24  
5 und 25 werden sodann die optimale Schallintensität und die gewünschte Schallfrequenz eingestellt. Die beschriebene Regeleinrichtung sorgt dafür, daß die optimale Schallintensität als effektive, auf  
10 die Reaktionsflüssigkeit zur vollen Einwirkung kommende Schallintensität während der gesamten Behandlungszeit eingehalten wird. Die Behandlung dauert 30 bis 60 Minuten. Während dieser Zeit wird durch das Kühlwasser die in dem Reaktionsgefäß ent-  
wickelte Wärme abgeführt und so die Temperatur  
15 konstant gehalten.

Die auf diese Weise erhaltene Vesikel-Suspension wird nun mit roten Blutzellen bei 37 Grad Celsius 1 h inkubiert. Danach werden die roten Blutzellen  
20 in isotonischem Puffer pH 7,4 gewaschen und die Hämoglobin-O<sub>2</sub>-Dissoziationskurve der modifizierten intakten Zellen gemessen. Der Erfolg der IHP-In-  
korporierung wird als "Rechtsverschiebung" der Hämoglobin-O<sub>2</sub>- Dissoziationskurve erkannt. Der durch  
25 IHP-Bindung an Hämoglobin maximal erreichbare O<sub>2</sub>- Halbsättigungsdruck beträgt bei 37 Grad Celsius und pH 7.4 95 mmHg.

Der Erfolg der kontrollierten Ultraschall-Methode  
30 liegt vor allem darin, daß der maximale IHP-In-  
korporierungseffekt mit Volumen-Verhältnissen RBC (Rote-Blutzellen): Vesikel oder mit Lipid-Konzen-

trationen erreicht wird, die nur noch 10 % der Werte betragen, die bei der bisher üblichen unkontrollierten Ultraschallanwendung für eine erfolgreiche IHP-Inkorporierung eingesetzt werden mußten. Daraus resultiert ein erheblicher wirtschaftlicher Vorteil, da Lipide teuer sind und nicht wiederverwendet werden können. Darüberhinaus sind mit der bisher üblichen Methode keine reproduzierbaren Ergebnisse zu erzielen, die unbedingte Voraussetzung für eine sichere Dosierung in der Therapie sind.

#### Beispiel 2

Bei Lipid-Vesikeln für therapeutische Zwecke besteht die Forderung nach absoluter Keimfreiheit. Da eine Sterilisation der fertigen Vesikelsuspension auf äußerste Schwierigkeiten stößt, wird folgendes Verfahren angewandt: Die Ausgangskomponenten entsprechend dem Beispiel 1 werden zunächst sterilisiert, und unter sterilen Kautelen in einen ebenfalls sterilisierten Beutel aus Polyäthylen oder Weich-PVC-Folie von etwa 0,5 mm Wandstärke gefüllt. Der Beutel wird steril dicht verschlossen und dann in dem Ultraschallgefäß nach Fig. 2 der Ultraschallwirkung ausgesetzt, wobei der Raum zwischen den Gefäßwänden und dem Beutel mit Wasser ausgefüllt ist. Die Messung der Schallintensität erfolgt in diesem Fall an der Außenseite des Beutels. Unter sonst gleichen Bedingungen wie in Beispiel 1 beschrieben werden die gleichen Ergebnisse erzielt, wenn



15

die den Schwingungsgebern zugeführte Leistung  
etwa um den Faktor 1,65 erhöht wird. Dieser  
bei der vorgegebenen Versuchsanordnung anhand  
der Messungen experimentell ermittelte Faktor  
5 repräsentiert die durch die Einbringung des  
Beutels eintretenden Leistungsverluste.

---

Verfahren zur Herstellung von Lipid-Vesikeln  
durch Ultraschallbehandlung, Anwendung des  
Verfahrens und Vorrichtung zur Durchführung  
des Verfahrens

---

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Lipid-Vesikeln  
aus biologischen Membranen oder Lipid-Suspen-  
sionen, bei dem die zu desintegrierenden Lipid-  
Suspensionen oder Lipid-Partikel in einer Dis-  
persionsflüssigkeit innerhalb eines Behandlungs-  
gefäßes bei im wesentlichen konstanter Tempe-  
ratur einer Ultraschallbehandlung unterworfen  
werden, d a d u r c h g e k e n n z e i c h -  
n e t, daß die für den gewünschten Zweck wirk-  
same Vesikelgröße bzw. Vesikelgrößenverteilung,  
sowie die für die Erzielung dieser Vesikel-  
größe bzw. dieser Vesikelgrößenverteilung opti-  
male Ultraschall-Frequenz und -Intensität in  
der Dispersionsflüssigkeit ermittelt, und daß  
die so ermittelte optimale Ultraschall-Frequenz  
und -Intensität bei im übrigen gleichen Behand-  
lungsbedingungen dadurch konstant gehalten wird,

daß während der Ultraschallbehandlung der Istwert der Frequenz und Intensität des Ultraschallfeldes in dem Reaktionsmedium fortlaufend gemessen, und in Abhängigkeit von dem  
5 Istwert die Ausgangsleistung und die Frequenz des den Schwingungsgeber speisenden elektrischen Generators geregelt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Regelung des den Ultraschallgeber speisenden Generators mit Hilfe eines automatischen Regelkreises mit Sollwert-Istwert-Vergleich vorgenommen wird.  
10

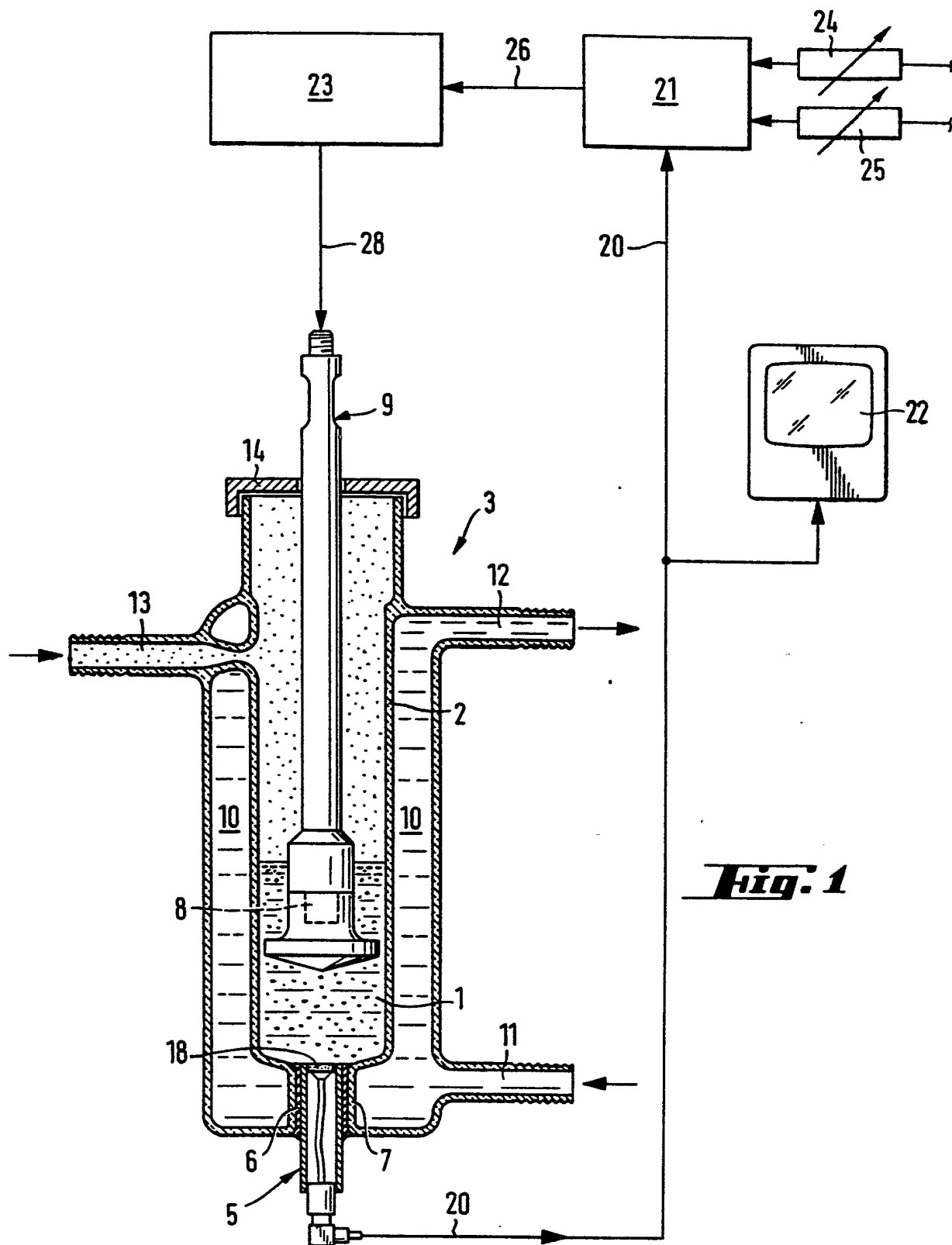
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zur Messung der Ultraschall-Intensität und -Frequenz ein in die Reaktionsflüssigkeit eintauchender piezoelektrischer Schallaufnehmer verwendet wird.  
15

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der piezoelektrische Schallaufnehmer am Boden des Reaktionsgefäßes so angeordnet wird, daß die Richtung seiner höchsten Empfindlichkeit gegen den Ultraschallgeber gerichtet  
20 ist, während der Ultraschallgeber in das obere Drittel des Mediums eintaucht.  
25

5. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Reaktionsmedium unter einer Inertgasatmosphäre behandelt wird.  
30

6. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Reaktionsmedium sterilisiert und in einem Steril-Beutel eingeschlossen, und der  
5 das Reaktionsmedium enthaltende Steril-Beutel innerhalb einer dem Ultraschallfeld ausgesetzten Flüssigkeit behandelt wird.
7. Anwendung des Verfahrens nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6 zur Herstellung von für therapeutische Zwecke bestimmten, mit einem Wirkstoff wie Inositolhexaphosphat beladenen, zur Fusion mit roten Blutzellen befähigten Lipid-Vesikeln.  
10
8. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, mit einem die Reaktionsflüssigkeit aufnehmenden Behandlungsgefäß und mindestens einem von einem elektrischen Generator gespeisten elektroakustischen Wandler zur Erzeugung eines Ultraschallfeldes in dem Reaktionsmedium, d a d u r c h g e k e n n -  
20 z e i c h n e t , daß innerhalb des Behandlungsgefäßes (3; 30) als Schallaufnehmer ein  
25 akustisch-elektrischer Wandler (18; 37) angeordnet ist, dessen Ausgangssignal zur Regelung der Ultraschall-Intensität und -Frequenz in der Reaktionsflüssigkeit dient.
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, gekennzeichnet durch einen den elektrischen Generator (23; 43) ansteuernden Regelverstärker (21; 39) mit Sollwert-Istwert-Vergleich.  
30

10. Vorrichtung nach Anspruch 8 und 9, dadurch gekennzeichnet, daß der akustisch-elektrische Wandler (18; 37) aus einer am Ende eines Rohres angeordneten Piezo-Scheibe besteht, die mit ihrer gegen Schalldruck empfindlichsten Richtung gegen den Schwingungsgeber gerichtet ist.
11. Vorrichtung nach Anspruch 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Geometrie des Ultraschallgebers und des das Medium aufnehmenden Behandlungsgefäßes (3; 30) so gewählt sind, daß die durch Reflexion verursachte Bildung von Ultraschallwellen mit einer von der Sollfrequenz abweichenden Frequenz und/oder mit gegenüber den primären Ultraschallwellen verschobener Phase in dem beschallten Medium vermieden wird.
12. Vorrichtung nach Anspruch 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Behandlungsgefäß (3; 30) von einer Kühlflüssigkeit durchströmte Doppelwände aufweist.
13. Vorrichtung nach Anspruch 8 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Behandlungsgefäß (3) gegen die Außenatmosphäre abgeschlossen ist und eine Zuleitung (13) für die Zufuhr von Inertgas zu dem Gasraum oberhalb des beschallten Reaktionsmediums (1) aufweist.

**Fig. 1**

**Fig. 2**

